UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – CAMPUS CURITIBA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA - DAELT
Amplificadores Operacionais e Semicondutores – ELT74E
Prof.ª Elisabete Nakoneczny Moraes

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA

UTFPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS CURITIBA

RETIFICAÇÃO MONOFÁSICA PARTE 1

AOS06 – REVISÃO CORRENTE ALTERNADA E RETIFICADOR MONOFÁSICO MEIA ONDA

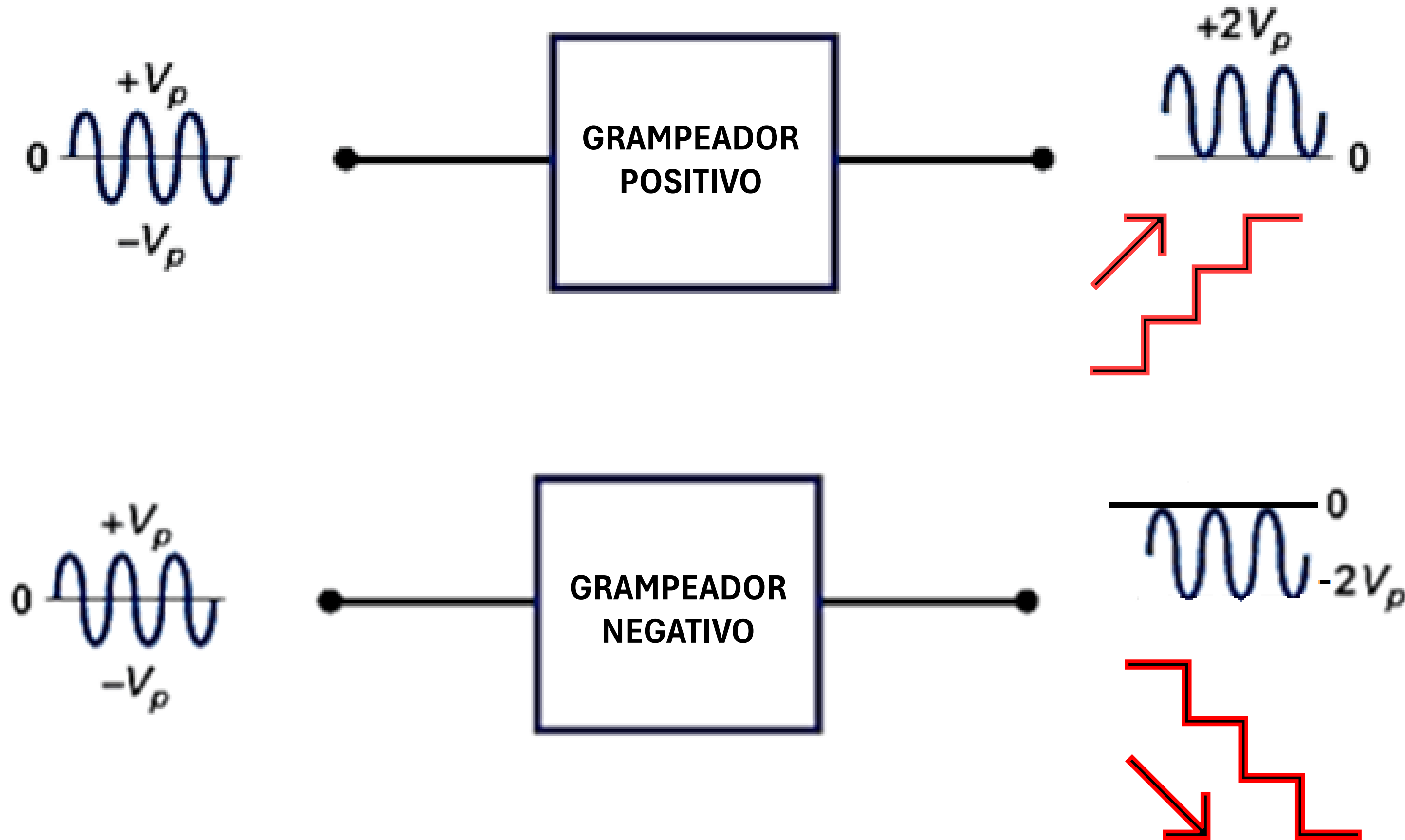
Curitiba, 21 de outubro de 2024. (S24 online)
Curitiba, 22 de outubro de 2024. (S25, S26)

AGENDA

1. Revisão CA
2. Retificador de meia onda (RMO)
3. Exercícios

Revisão: grampeador (*Clamper*)

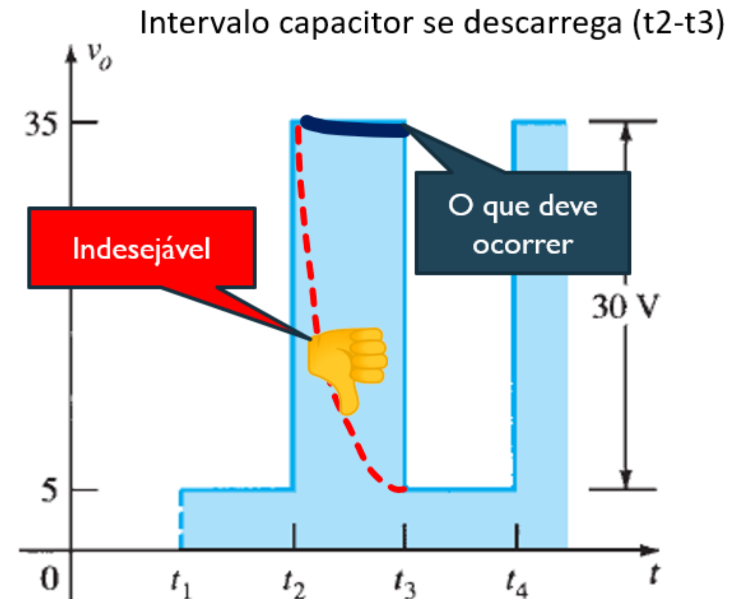
GRAMPEADOR: fixa o sinal de entrada a uma tensão de referência. São utilizados em Circuitos Integrados que operam somente com sinais positivos ou sinais negativos.



Créditos figura e conteúdo sobre grampeador: Malvino Online seção 4.11, p.123

Revisão: grampeador (*Clamper*)

O elemento responsável por realizar esta ação é o capacitor.
O circuito é projetado para que o capacitor permaneça carregado durante o intervalo que que fica em paralelo com a carga que precisa deste tipo de forma de onda.
A análise ocorre em regime permanente!



Roteiro para análise do grampeador:

1-Inicie a análise de circuitos grampeadores,

considerando a parte do sinal de entrada que polariza o diodo diretamente.

2-Durante o período que o diodo está no estado "ligado", assumir que o capacitor se carrega instantaneamente a um nível de tensão determinado pelo circuito.

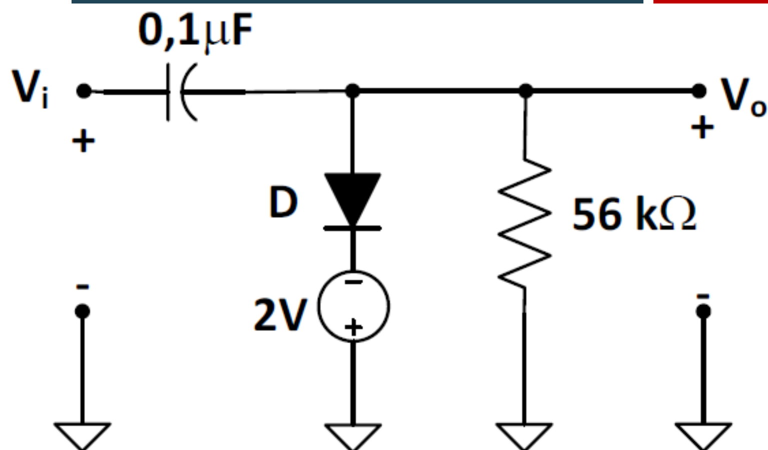
3-Assumir que, durante o estado "desligado", o capacitor mantém o nível de tensão previamente estabelecido, ou seja, NÃO SE decarrega.

4-Durante toda a análise, focar na polaridade dos elementos envolvidos, a fim de assegurar a corretude da análise e os níveis apropriados para a tensão de saída (vo) foram obtidos.

5-Regra geral de que a excursão total da saída deve estar de acordo com a excursão do sinal de entrada.

Admite-se que o período de descarga é 5τ. Esse valor deve ser superior ao período de análise.

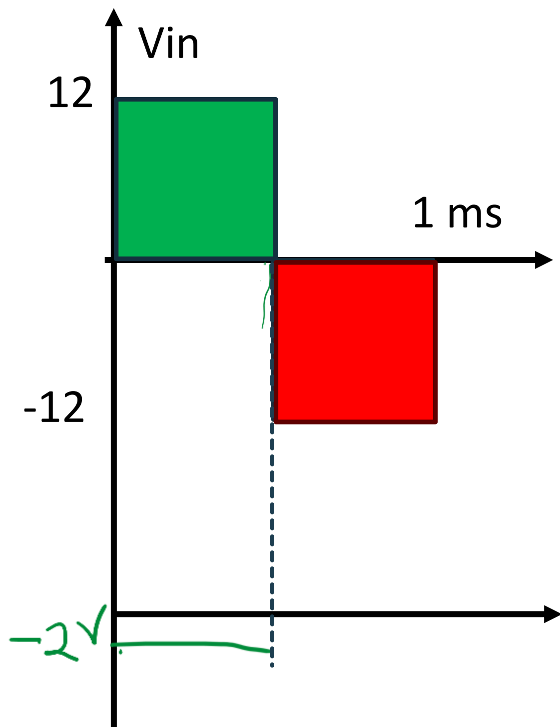
Revisão: exercício grampeador (i)

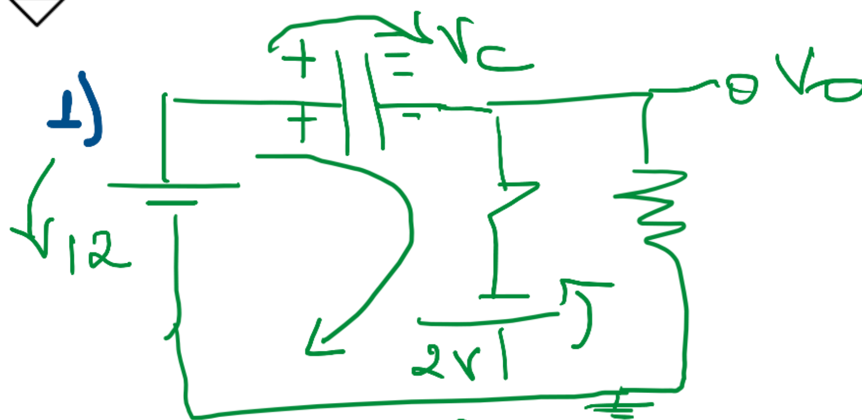


Orientação para a solução:

1) inicia pelo semiciclo que polariza o diodo diretamente
2) Necessário determinar com quanto o capacitor se carrega.
3) Depois quanto que é a Vo

Início da análise pelo intervalo semiciclo positivo➔ pois é quando o diodo é polarizado diretamente!



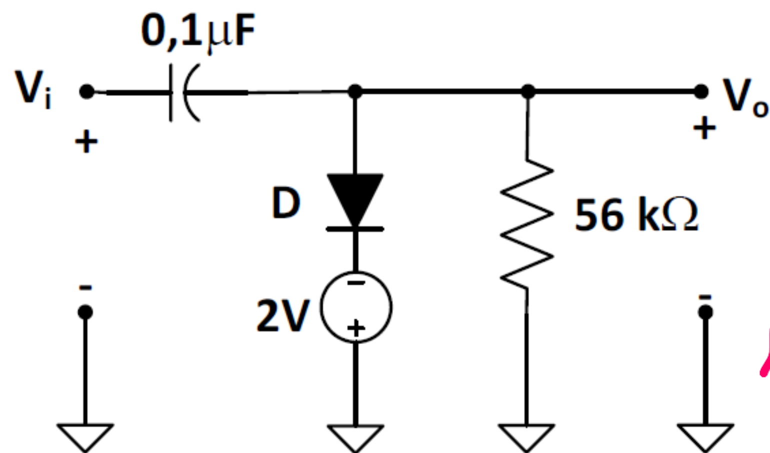


2) LKT ⇒ $+12 - V_c + 2 = 0$

$V_c = 14\,V$

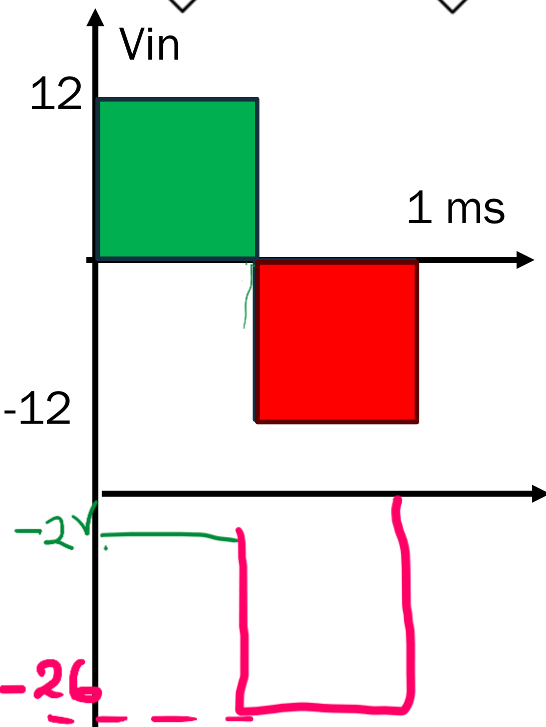
3) $V_o = -2V$

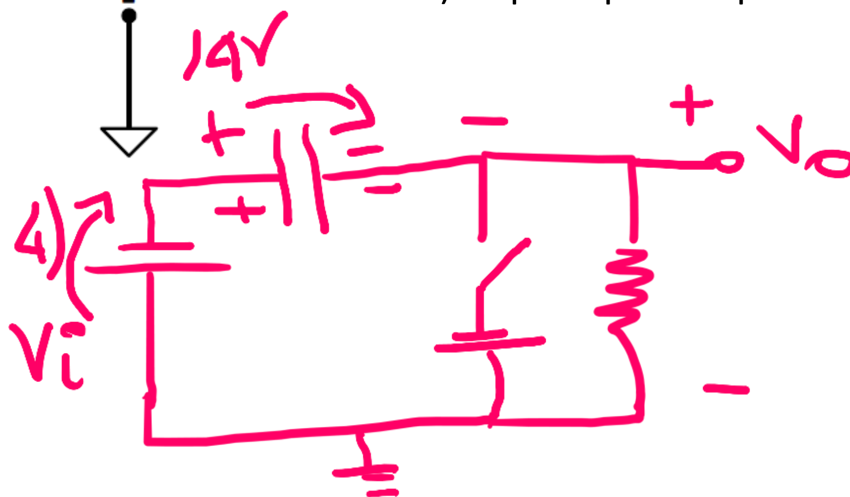
Revisão: exercício grampeador (ii)



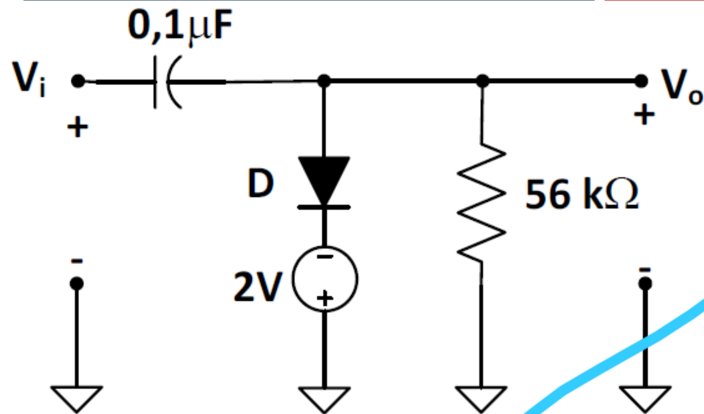
Orientação para a solução:

1) inicia pelo semiciclo que polariza o diodo diretamente
2) Necessário determinar com quanto o capacitor se carrega.
3) Depois quanto que é a Vo.





Revisão: exercício grampeador (iii)



Verificação se o capacitor atende requisitos para não se descarregar.

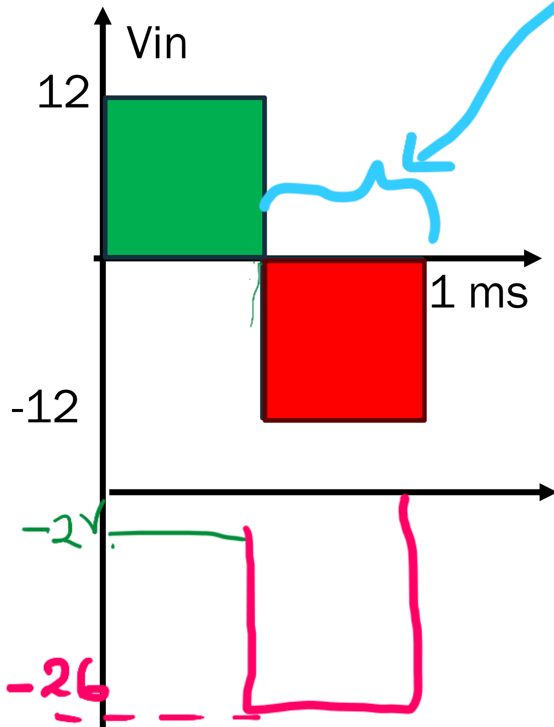
$$\sigma_D = R.C \gg 1/2 \text{ ciclo } Vin$$

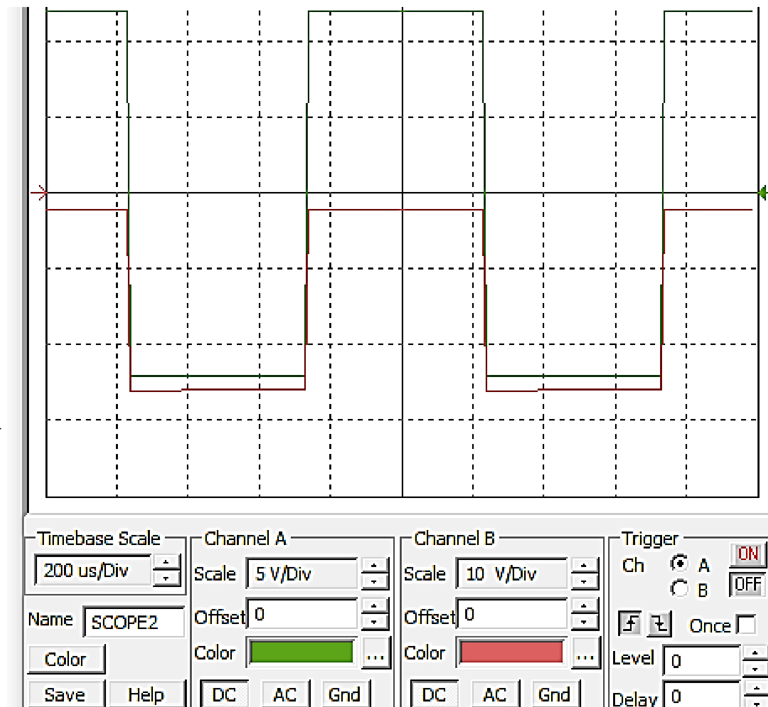
f= 1 kHz = 1ms ➔T/2 = 0,5 ms

σD = constante de tempo circuito = (0,1u)(56k) = 5,3 ms

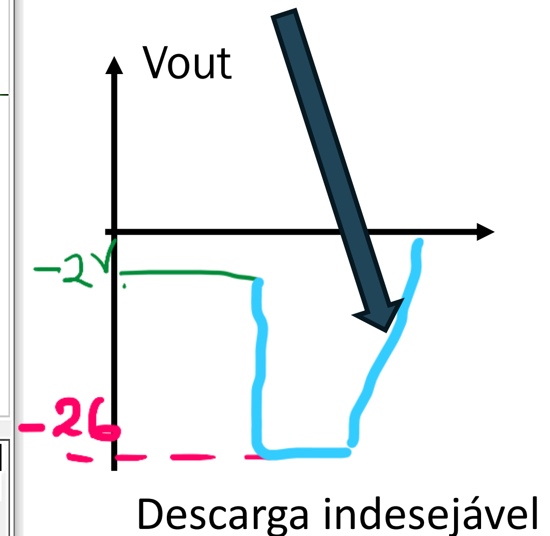
Conclusão que 5,3 ms >> 0,5 ms

Atende aos requisitos para o capacitor não se descarregar!!





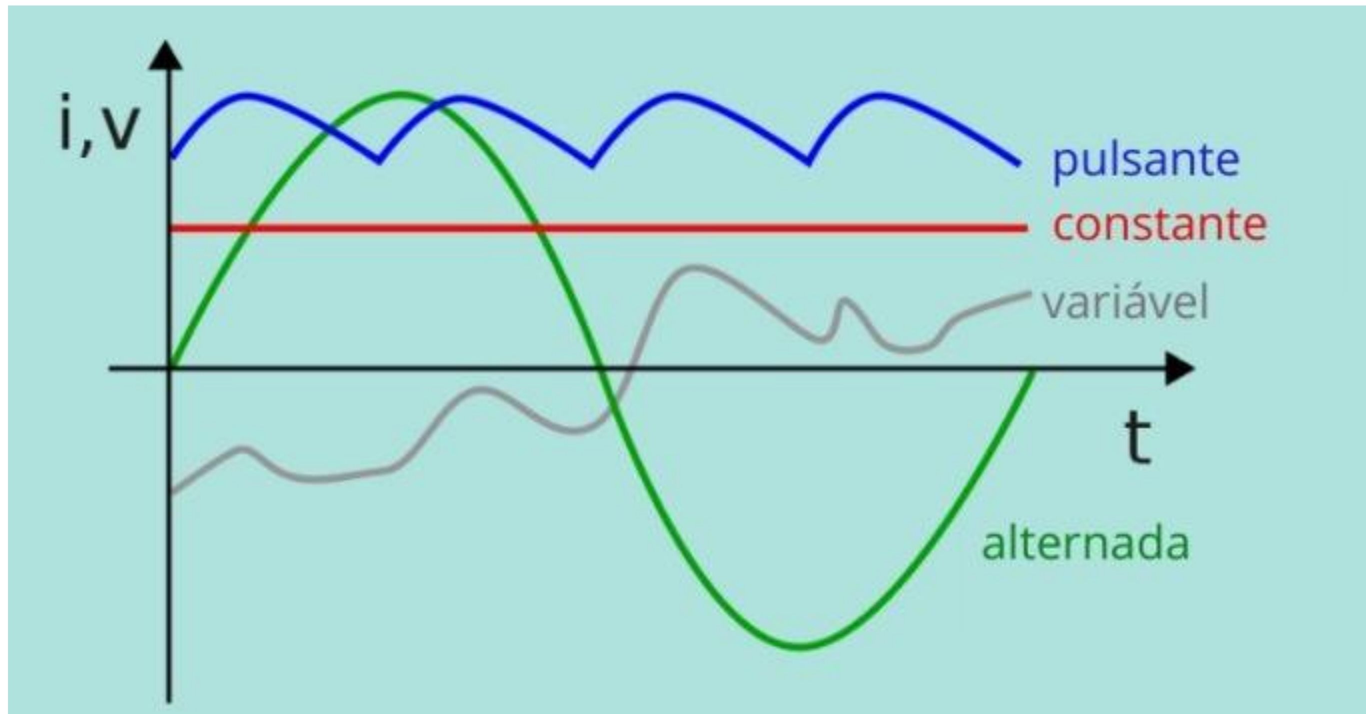
Se σD = constante de tempo circuito < 0,5 ms



Descarga indesejável

Revisão da Corrente Alternada (CA ou AC)

Caracterização das formas de onda



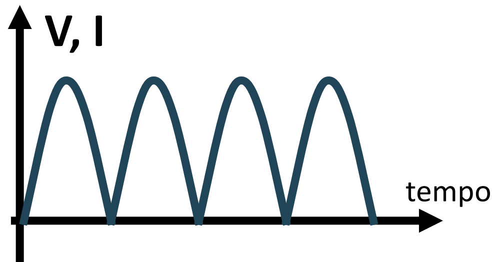
Créditos da imagem: https://cdn.diferenca.com/imagens/correntes-eletricas-2-cke.jpg

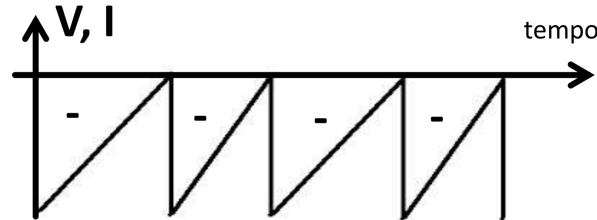
https://www.diferenca.com/corrente-continua-e-corrente-alternada/

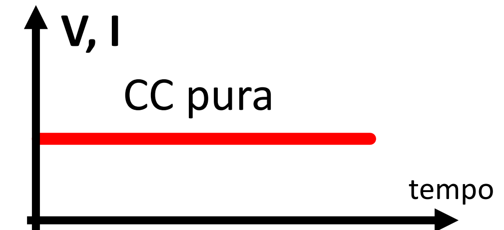
CC (*DC*) & CA (*AC*)

*Grandeza elétrica de natureza **contínua** (*direct current = DC*)➔ <u>único sentido da corrente na carga,</u> ou seja, unidirecional.

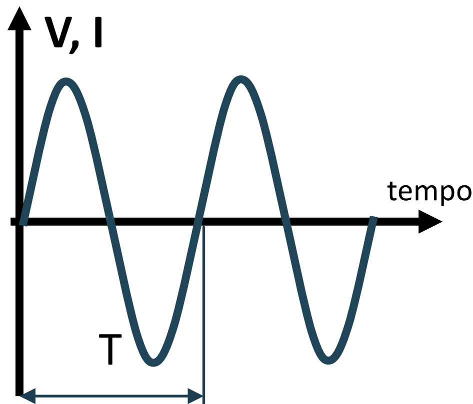
Ex. CC pulsante.

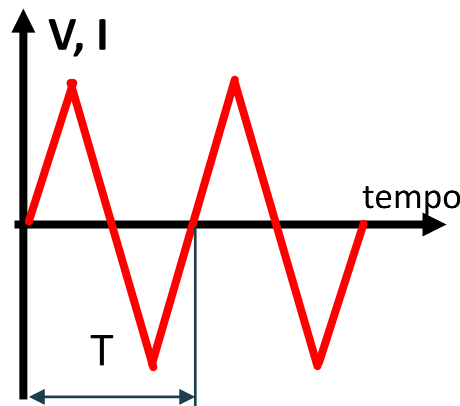


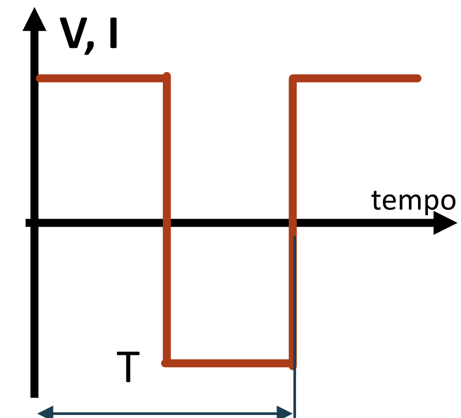




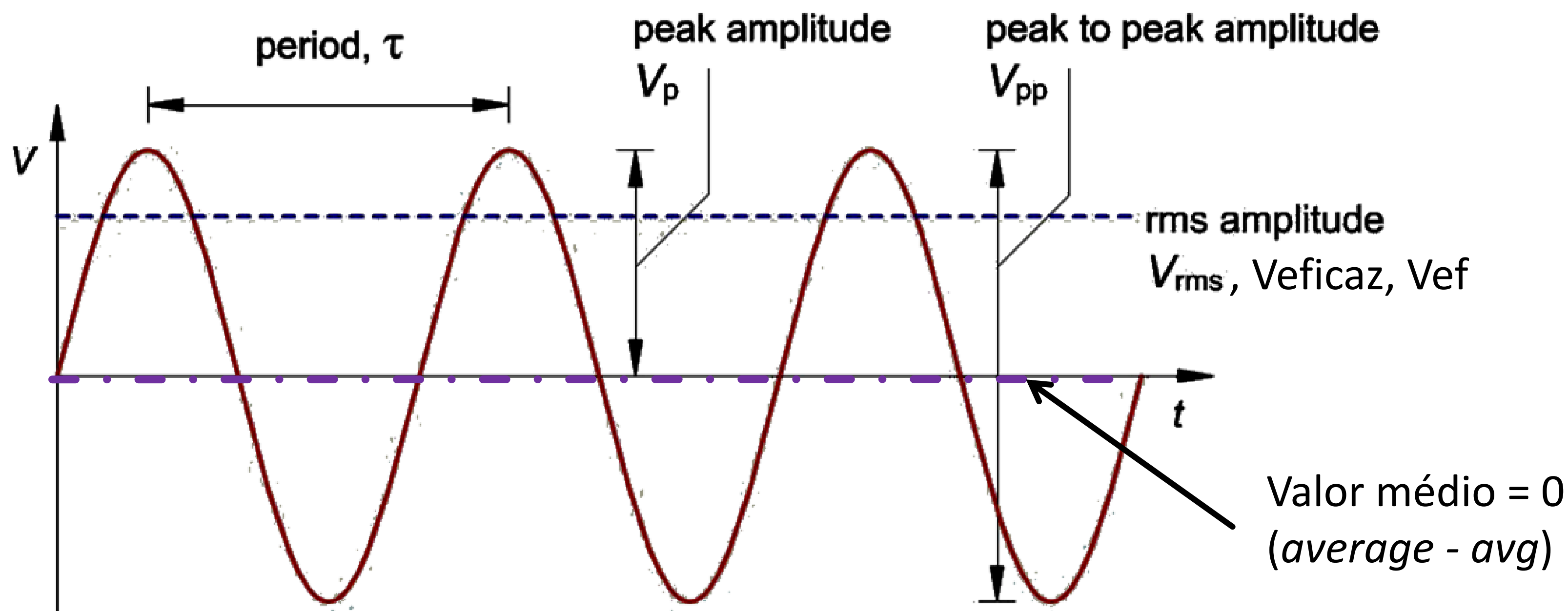
*Grandeza elétrica de natureza **alternada** *(alternating current=AC)* ➔ há mudança periódica no sentido da corrente elétrica na carga.







Valores notáveis de uma CA



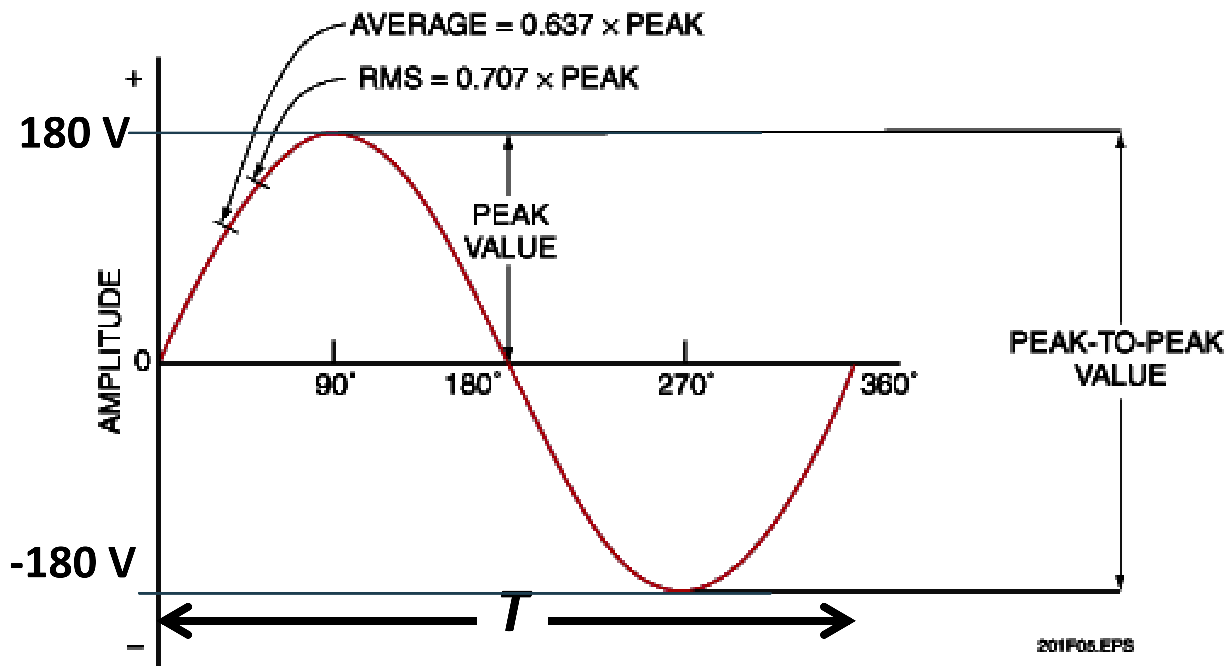
SOMENTE para ondas **senoidais** a relação é **VÁLIDA**!!:

$$V_{rms} = V_{ef} = \frac{Vmax}{\sqrt{2}} \therefore Vmax = V_{ef}\sqrt{2}$$

Funções periódicas notáveis: valor eficaz

Valor Eficaz=VRMS=Vef➔ $\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (y(t))^2 dt}$

➔Para obter este valor a escala do instrumento TEM que estar em AC/AC

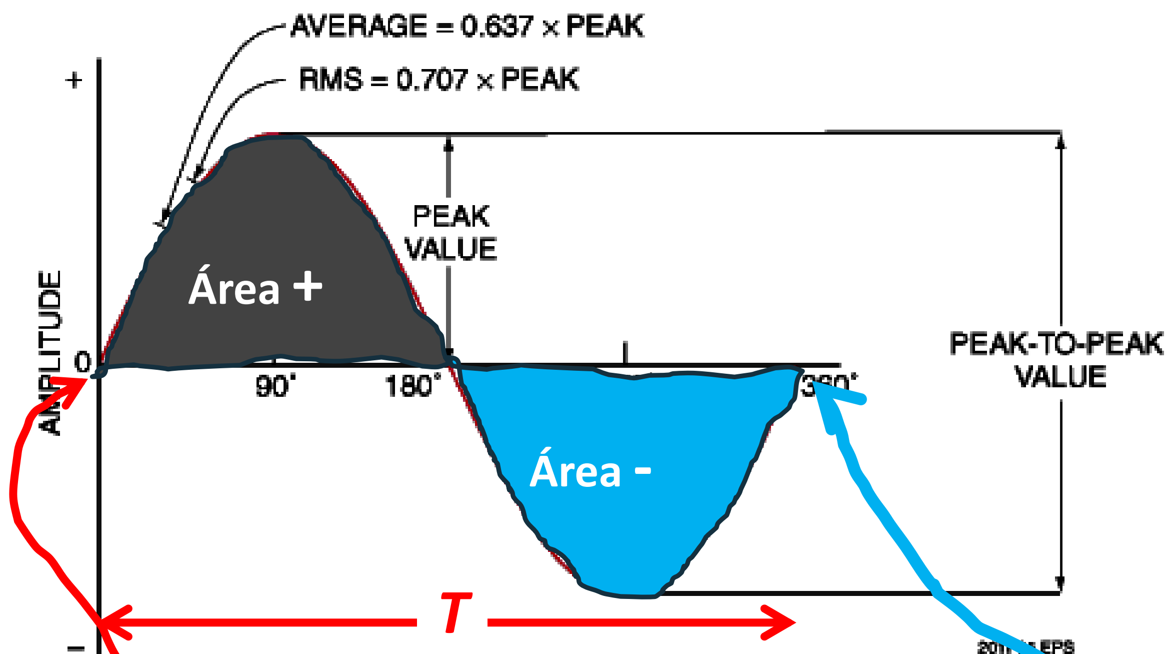




Funções periódicas notáveis: valor médio

Valor Médio, V_{DC}, V_{CC}, V_{AV}, V_M ➔ $\frac{1}{T}\int_0^T y(t)dt$

➔ Para obter este valor a escala do instrumento TEM que estar em CC/DC

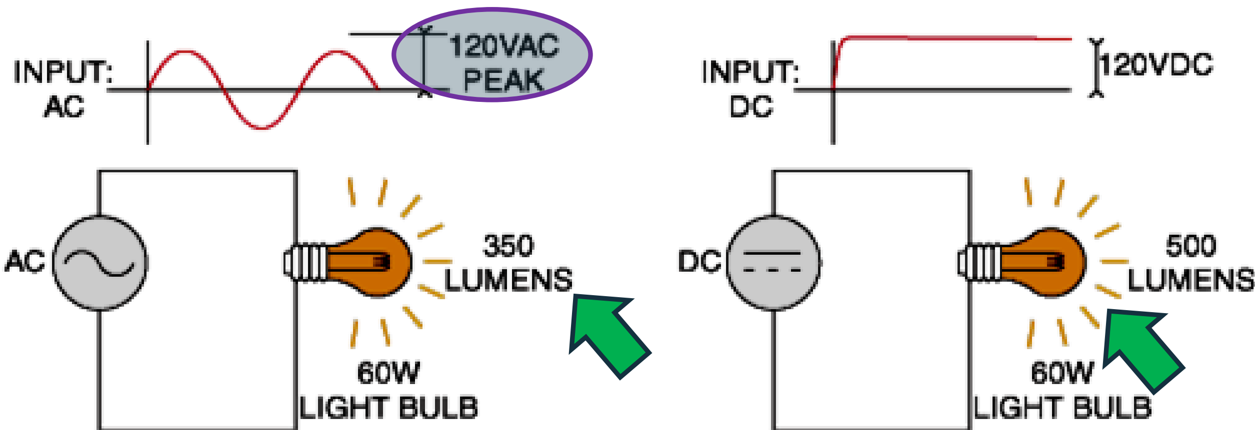




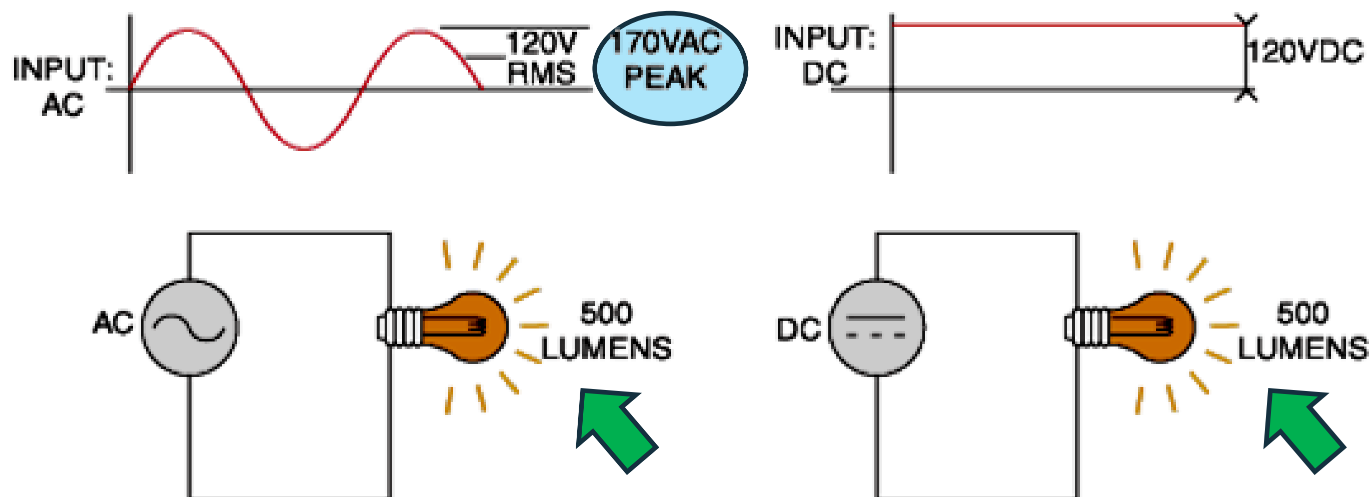
O valor médio (V_{DC}) de uma CA é **zero**.

Significado do valor eficaz ≡ rms

Valor Médio Quadrático, Eficaz ou Efetivo (*root mean square* – rms) ➔ $\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (y(t))^2\,dt}$

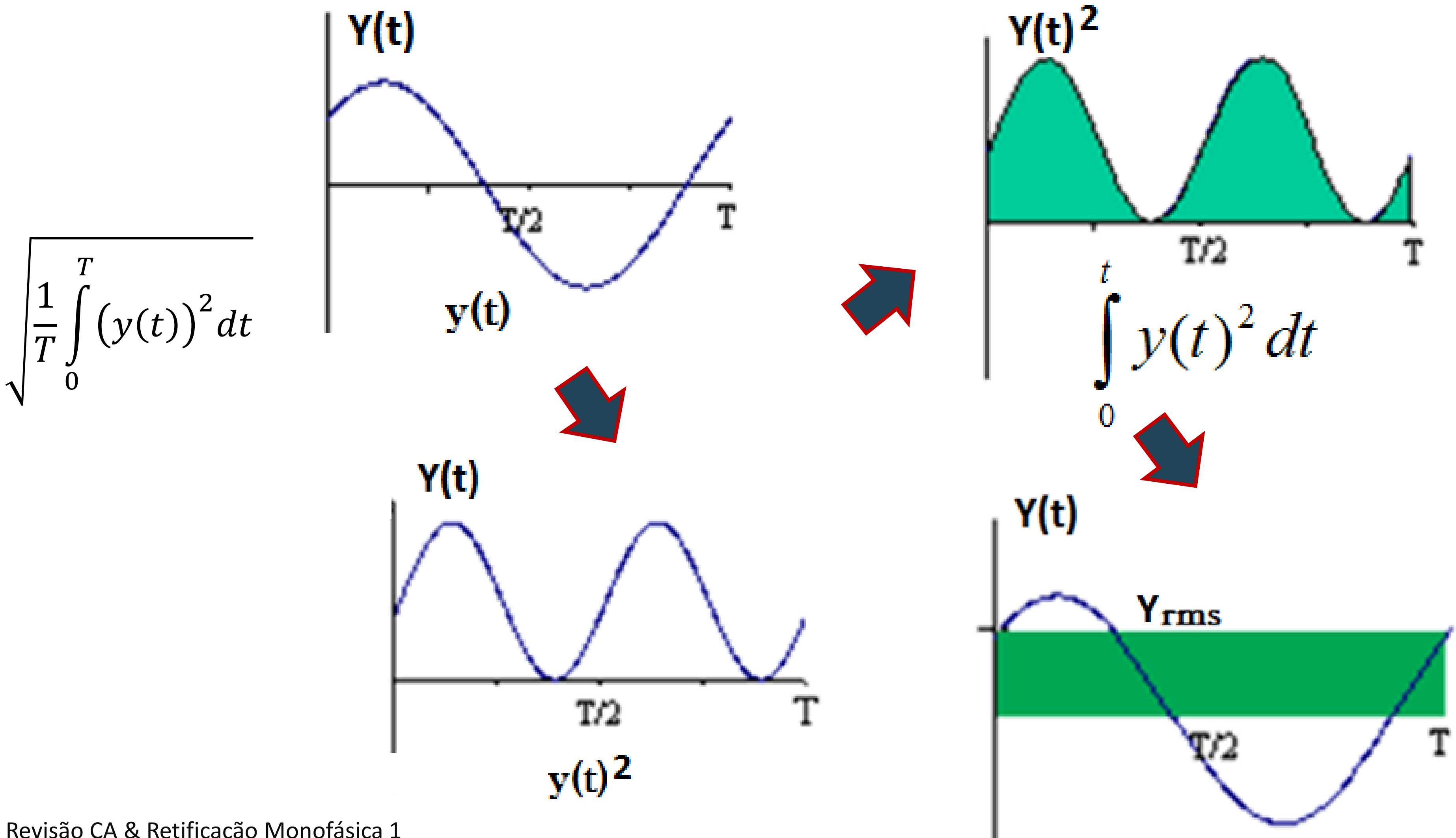


VALOR DE UMA TENSÃO VARIÁVEL QUE PRODUZ O MESMO TRABALHO QUE UMA TENSÃO CONTÍNUA 'PURA'

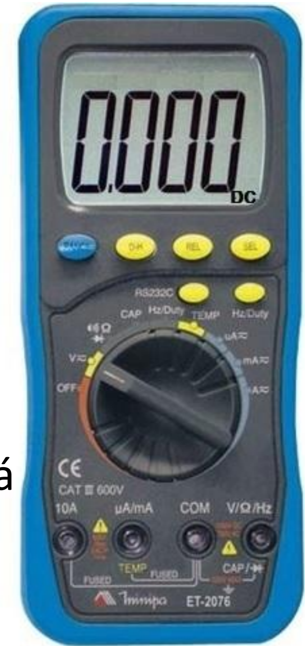


Representação gráfica do valor eficaz ≡ rms

Graficamente, o valor eficaz (rms, ef) está relacionado com a área sob a curva que representa a evolução temporal do quadrado da grandeza, como é ilustrado a seguir:



Medição de um valor notável com o MD



Ao empregarmos o multímetro digital que é o instrumento que mais frequentemente usado nas medidas das grandezas elétricas temos que observar que:

- ao selecionar a escala CA (AC) o valor indicado no display do instrumento corresponde ao valor eficaz da grandeza com o seguinte particular:
  - ✓ Se o MD for TRUE RMS: o valor informado corresponde ao valor eficaz da grandeza medida ➔ ou seja está correta a medida;
  - ✓ Se o MD **NÃO FOR** TRUE RMS: o valor informado pelo MD somente será o correto caso a forma de onda que está sendo medida seja SENOIDAL.

$$valor\ rms\ ou\ eficaz = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \left(y(t)\right)^2 dt}$$

- ao selecionar a escala DC, o valor indicado no display corresponde ao valor MÉDIO da grandeza.

$$valor\ médio\ ou\ DC = \frac{1}{T}\int_0^T y(t)dt$$

Notação usada em eletrônica:
V_{DC}=V_{CC}= V_{AVG}= valor médio

Valor informado na placa de identificação de um equipamento que opera em CA corresponde ao valor EFICAZ





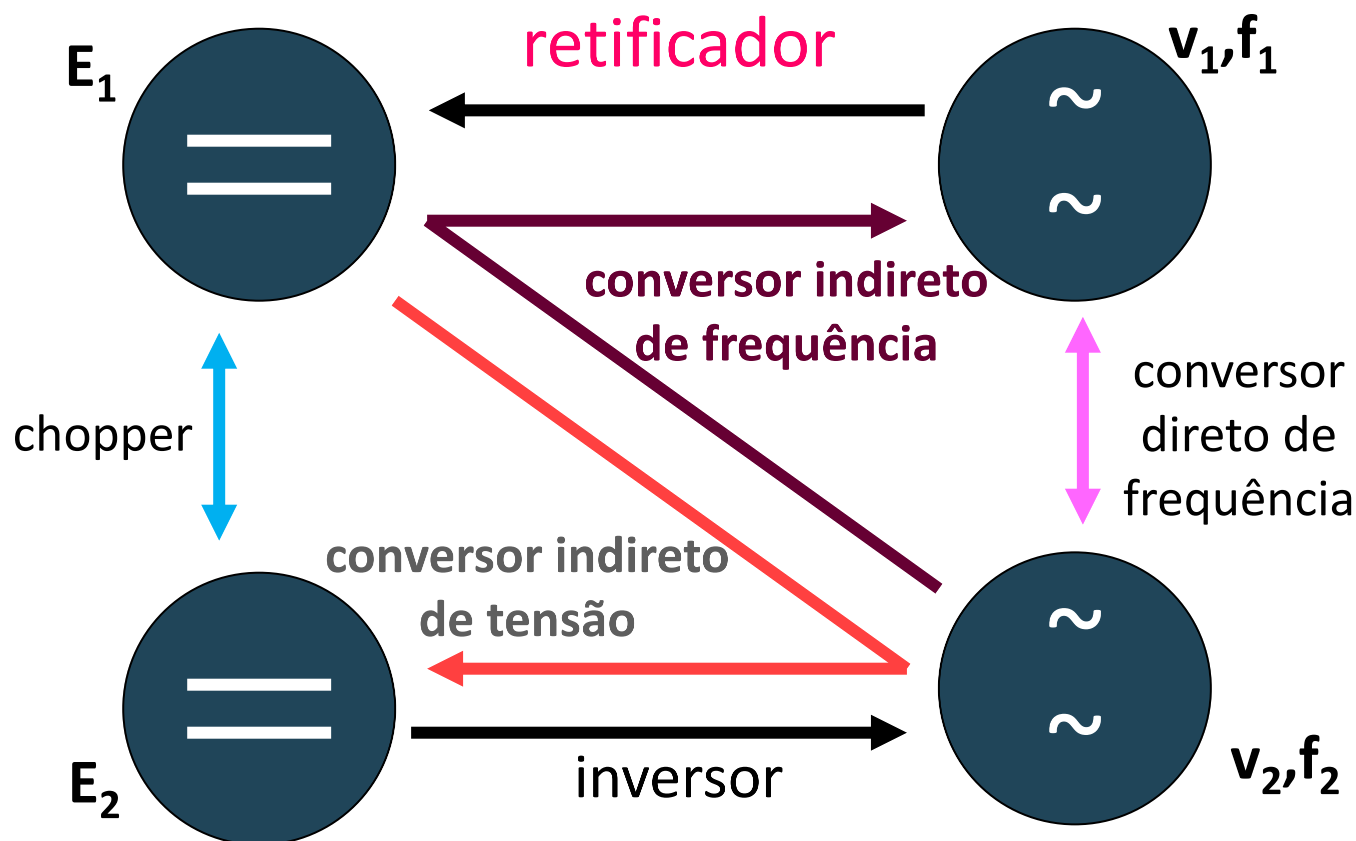
Por padrão as etiquetas dos equipamentos elétricos informam o valor da tensão **EFICAZ**





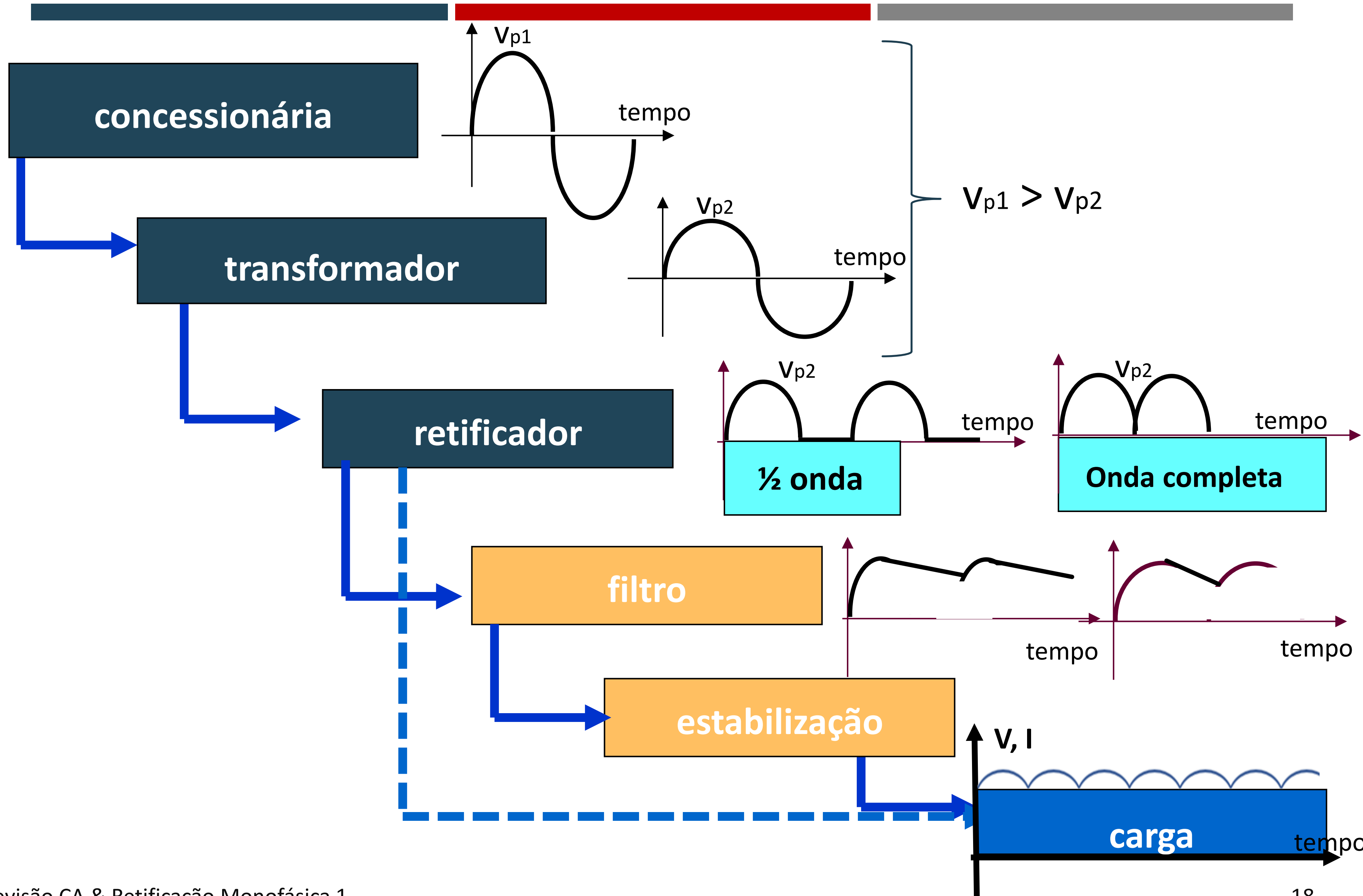
Conversor Estático

Sistema construído por elementos passivos e elementos ativos (interruptores eletrônicos) tais como: tiristores, transistores, associados segundo uma lei pré-estabelecida que realizam o tratamento eletrônico da energia elétrica, são empregados para o controle do fluxo da energia elétrica entre 2 ou mais sistemas elétricos.



Créditos: Barbi, Ivo

Estrutura básica de um retificador



Transformador

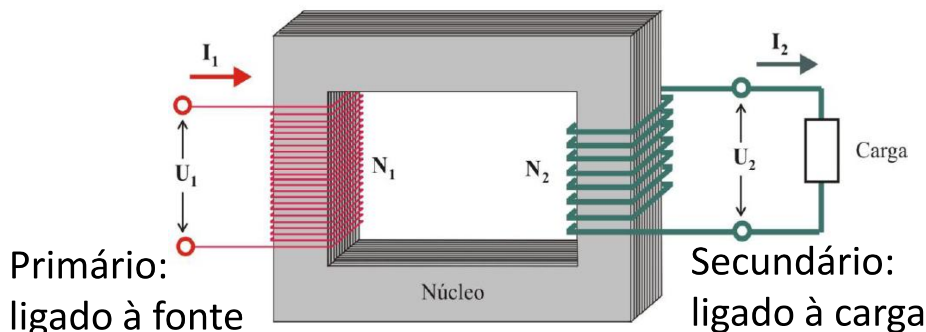
Máquina elétrica estática de elevado rendimento destinada a alterar os níveis de tensão, mantendo a potência e frequência constantes.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = r_t$$

Onde: rt é a relação de transformação

$$P_1 = P_2$$

$$U_1.I_1 = U_2.I_2$$

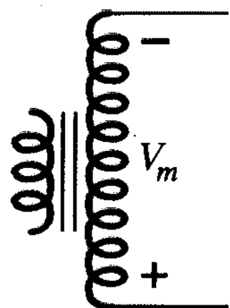


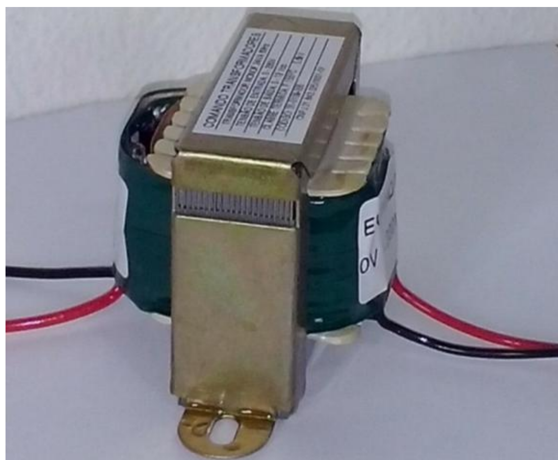
Primário: ligado à fonte

Secundário: ligado à carga

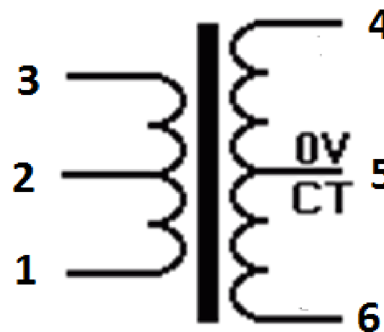
monofásico

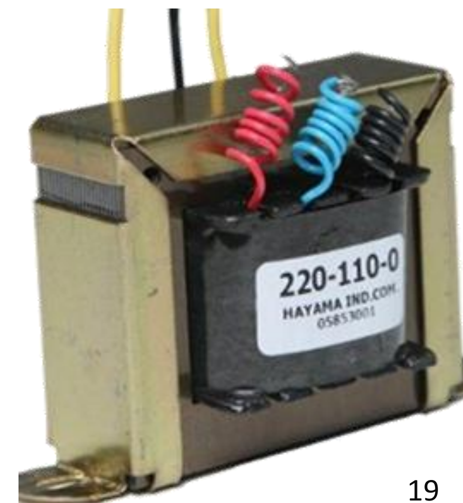
Transformador 1ϕ (secundário 1 enrolamento)





Transformador 1ϕ tape central



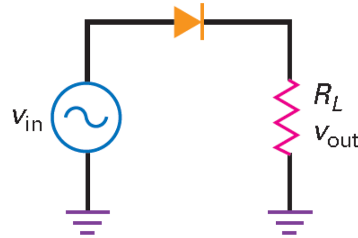


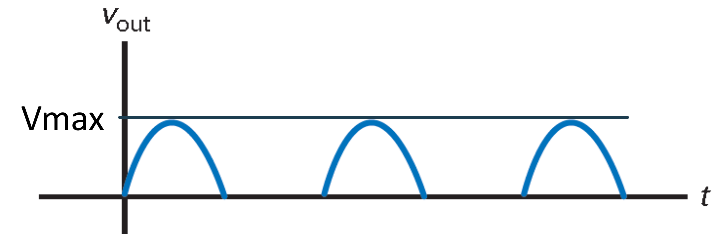
Retificador Meia Onda (RMO): diodo ideal & simplificado

MEIA ONDA

RMO= retificador de meia onda

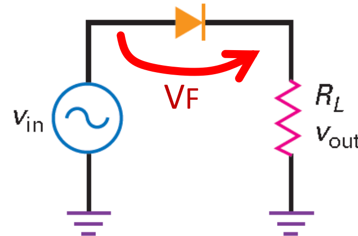
Diodo ideal

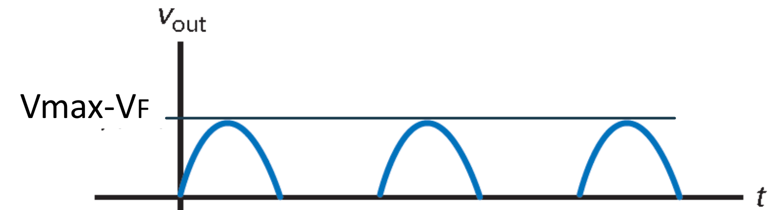




$V_{RL} = V_{medio} = V_{DC} = (Vmax).0,318$

Diodo simplificado



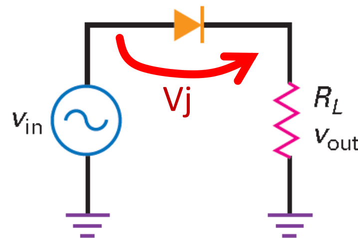


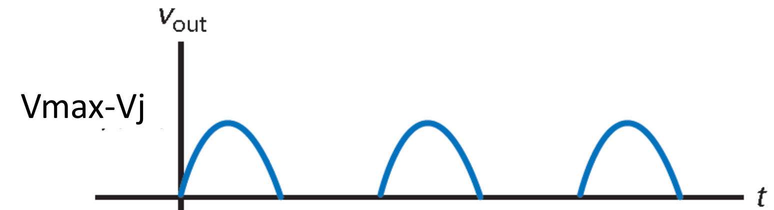
$V_{RL} = V_{medio} = V_{DC} = (Vmáx-V_F).0,318$

Malvino online cap 4: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555776/cfi/103!/6/4@0.00:0.00

Tipos de retificadores monofásicos: diodo modelo simplificado

MEIA ONDA

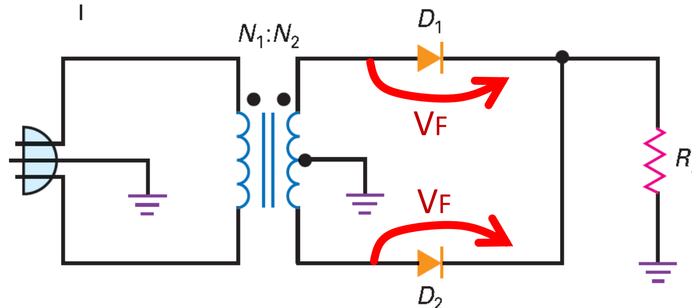




$V_{RL} = V_{medio} = V_{DC}$=(Vmáx-VF).0,318

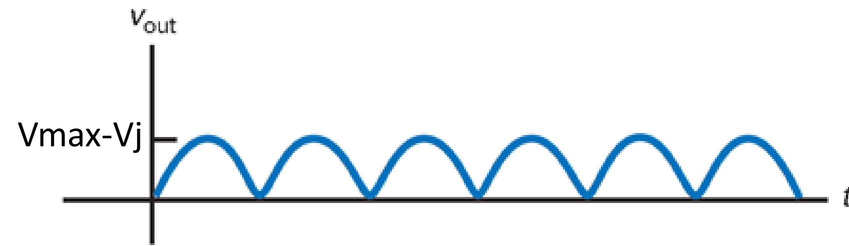
ONDA COMPLETA

Tape central ou duplo de meia onda (*center tap*)

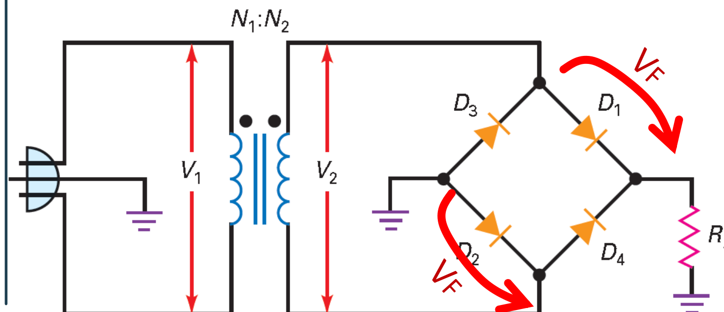


TAPE CENTRAL

$V_{RL} = V_{medio} = V_{DC}$=(Vmáx-VF).0,636

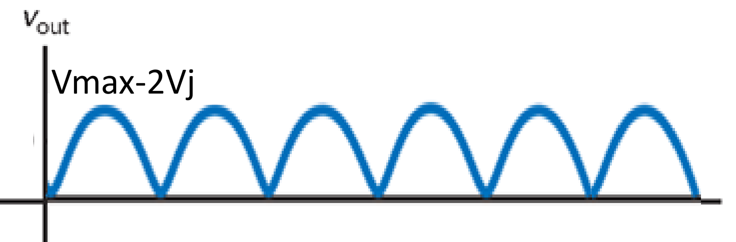


Em ponte



PONTE

$V_{RL} = V_{medio} = V_{DC}$=(Vmáx-2VF).0,636



Malvino online cap 4: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555776/cfi/103!/6/4@0.00:0.00

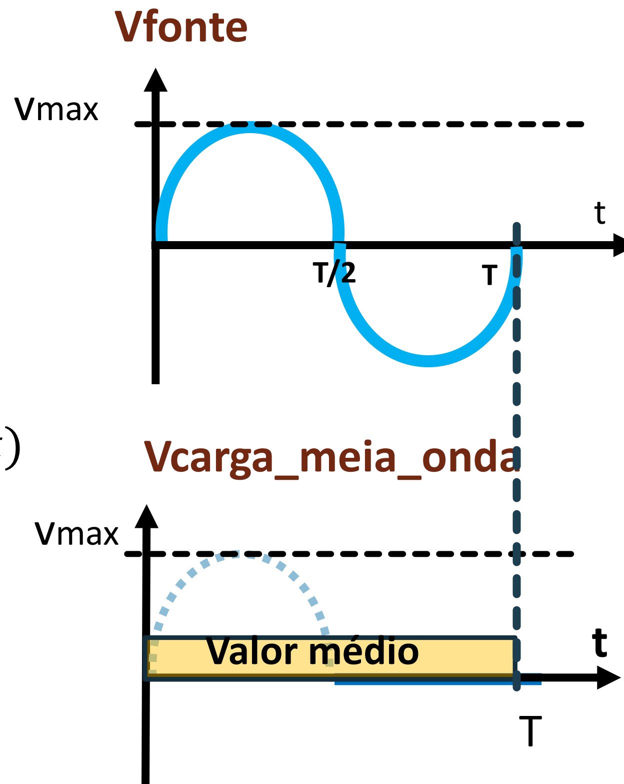
Como a tensão de saída nos retificadores é avaliada

Retificador: a forma de onda da saída é uma CC pulsante, o valor notável que representa e quantifica esta intensidade de tensão é o valor médio: V_{med}, V_{CC}, V_{DC}, V_{avg} (*average*).

$$\frac{1}{T}\int_{0}^{\pi} y(t)dt,$$

$$onde:$$

$$y(t) = Vmáx\ (sen\ wt)$$



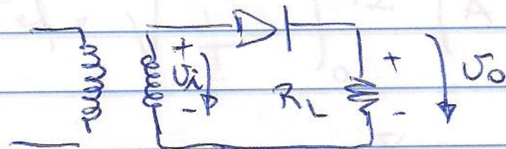
Ao nos referirmos ao valor de uma fonte DC, está implícito que o valor notável em questão é o valor médio (DC,CC, med, avg).

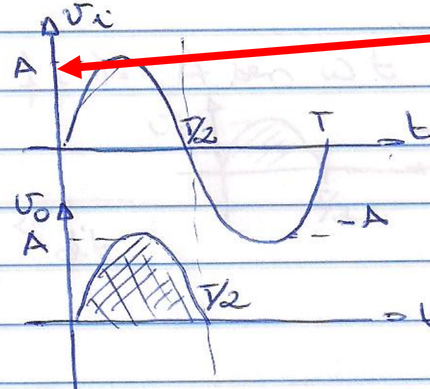
Dedução da tensão média para retificador meia onda

Expressão do Valor Médio de Tensão na carga para Retificador de Meia Onda

$$\text{Valor médio} = \frac{1}{T}\int_0^T f(t)\,dt$$

$$f(t) = A \operatorname{sen} \omega t$$





A letra "A" usada na dedução corresponde amplitude máxima, valor de pico ou máximo

$$V_{med} = \frac{1}{T}\int_0^{T/2} A \operatorname{sen} \omega t\,dt \qquad \int \operatorname{sen} x = -\cos x$$

$$V_{med} = \frac{A}{T}\int_0^{T/2} \operatorname{sen} \omega t \qquad \omega t = 2\pi f \cdot t = 2\pi \frac{1}{t} \cdot T$$

$$V_{med} = \frac{A}{\omega T}\left(-\cos \omega t\right)_0^{T/2}$$

$$V_{med} = \frac{A}{\omega T}\left(-(-1) - (-1)\right)$$

$$V_{med} = \frac{A}{2\pi \frac{1}{t} \cdot T}(2) \quad \therefore \quad \frac{A}{\pi} = 0{,}318\,V_{máx}$$

TABELA RESUMO: retificadores (sem a etapa de filtro e regulação)

Parâmetro	Meia Onda
Número diodos	1
Frequência saída [Hz]	$1.(Freq_{entrada})$
Tensão média na carga - V_{DC}=V_{CC} [V]	$\frac{(V_{max} - V_F)}{\pi}$
Tensão eficaz na carga - V_{RMS}=V_{EF} [V]	$\frac{(V_{max} - V_F)}{2}$
Máxima tensão reversa-TPR=TPI=PIV [V]	$> V_{max}$
Ripple-fator de ondulação [%]	≈ 120
Capacidade de potência aparente do transformador em relação à potência contínua na carga [VA]	3,49 P_{DC} primário e secundário
Eficiência [%]	40,5

Revisão CA & Retificação Monofásica 1 28

Dedução da tensão eficaz para retificador meia onda

Expressão do Valor Eficaz de Tensão na carga para Retificador de Meia Onda

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T f(t)^2\,dt} \quad \therefore f(t) = A \operatorname{sen} \omega t$$



$$V_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{T/2} (A \operatorname{sen}(\omega t))^2\,dt}$$

$$V_{ef}^2 = \frac{A^2}{T}\int_0^{T/2} (\operatorname{sen}(\omega t))^2\,dt$$

Identidade trigonométrica: $\operatorname{sen}^2 x = \frac{1 - \cos 2x}{2}$

$$V_{ef}^2 = \frac{A^2}{2T}\left[\underbrace{\int_0^{T/2} dt}_{A} - \underbrace{\int_0^{T/2} \cos 2\omega t\,dt}_{B}\right] \quad (I)$$

$$(A) \Rightarrow \int_0^{T/2} dt = t\Big|_0^{T/2} = \left(\frac{T}{2} + \cancel{C}\right) - \left(0 + \cancel{C}\right)$$

$$(A) = T/2$$

$\int \cos x\,dx = \operatorname{sen} x$

(B) ⇒ Integração por substituição:

$$u = 2\omega t \Rightarrow du = 2\omega\,dt \quad \therefore dt = \frac{1}{2\omega}\,du$$

$$(B) \Rightarrow \int_0^{T/2} \cos 2\omega t\,dt = \int \cos u \cdot \frac{1}{2\omega}\,du$$

$$= \frac{1}{2\omega}\int \cos u\,du = \frac{1}{2\omega}\operatorname{sen} u$$

Retornando a ωt:

$$(B) = \frac{1}{2\omega}\operatorname{sen} 2\omega t\Big|_0^{T/2}$$

$$= \frac{1}{2\omega}\left(\operatorname{sen} 2\omega\left(\frac{T}{2}\right) - \operatorname{sen} 2\omega(0)\right)$$

$$= \frac{1}{2\pi f}\left(\operatorname{sen} \cancel{2}\pi \frac{1}{\cancel{T}}\cdot\frac{\cancel{T}}{\cancel{2}} - 0\right)$$

$$= 0$$

Substituindo os resultados de (A) e (B)

$$V_{ef}^2 = \frac{A^2}{2T}\{A - B\}$$

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{A^2}{2T}\left(\frac{T}{2} - 0\right)} = \sqrt{\frac{A^2}{4}}$$

$$V_{ef} = \frac{A}{2}$$

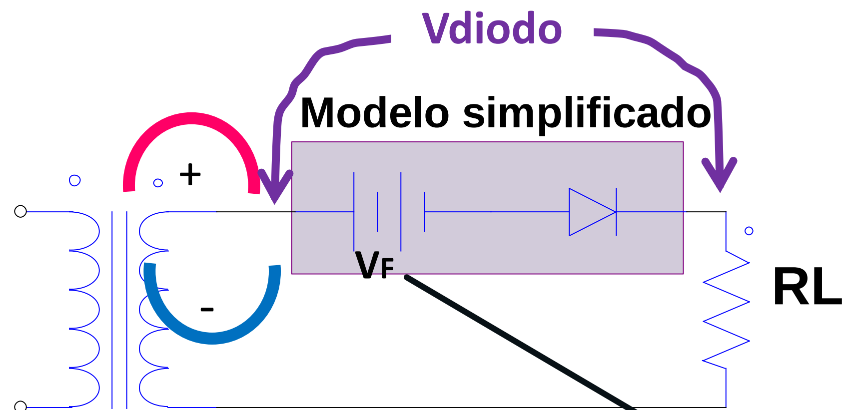
TABELA RESUMO: retificadores (sem a etapa de filtro e regulação)

Parâmetro	Meia Onda
Número diodos	1
Frequência saída [Hz]	$1.(Freq_{entrada})$
Tensão média na carga - $V_{DC}=V_{CC}$ [V]	$\frac{(V_{max} - V_F)}{\pi}$
Tensão eficaz na carga - $V_{RMS}=V_{EF}$ [V]	$\frac{(V_{max} - V_F)}{2}$
Máxima tensão reversa-TPR=TPI=PIV [V]	$> V_{max}$
Ripple-fator de ondulação [%]	≈ 120
Capacidade de potência aparente do transformador em relação à potência contínua na carga [VA]	3,49 P_{DC} primário e secundário
Eficiência [%]	40,5

Revisão CA & Retificação Monofásica 1 28

Retificador 1 ϕ meia onda: diodo simplificado

Diodo modelo simplificado



Vfonte
tempo
Vdiodo
VF
tempo

$V_{RL} = V_{medio} = V_{DC}=(Vmax-V_F).0,318$

ou

$V_{RL} = V_{medio} = V_{DC}= (Vmax-V_F) / \pi$

PIV = *peak inverse voltage*
TPR=tensão de pico reversa
TPI= tensão de pico inversa

PIV, TPR, TPI

$PIV_{(1/2)} > Vmax$

VRL
Vmax -VF
tempo

Corrente circula em apenas um único sentido, pois a tensão é também em um único sentido!

Datasheet: importância conhecimento TPI



Família Diodo 1N4000

Absolute Maximum Ratings* T_A = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value							Units
		4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007	
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
$I_{F(AV)}$	Average Rectified Forward Current, .375 " lead length @ T_A = 75°C	1.0							A
I_{FSM}	Non-repetitive Peak Forward Surge Current 8.3 ms Single Half-Sine-Wave	30							A
T_{stg}	Storage Temperature Range	-55 to +175							°C
T_J	Operating Junction Temperature	-55 to +175							°C

*



LED

Absolute Maximum Ratings at Ta=25°C

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Power Dissipation	P_D	66	mW
Reverse Voltage	V_R	4	V
D.C. Forward Current	If	30	mA
Reverse (Leakage) Current	Ir	100	µA
Peak Current (1 / 10 Duty Cycle, 0.1ms Pulse Width)	If (Peak)	100	mA
Operating Temperature Range	Topr	-25 to + 85	°C
Storage Temperature Range	Tstg	-40 to +100	°C
Soldering Temperature (1.6mm from body)	Tsol	Dip Soldering: 260°C for 5sec. Hand Soldering: 350°C for 3sec.	

Datasheet:

VISHAY

Small Signal Fast Switching Diodes



FEATURES





RoHS
COMPLIANT
HALOGEN
FREE

- Silicon epitaxial planar diode
- Electrically equivalent diodes:
  1N4148 - 1N914
- Material categorization:
  For definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912

APPLICATIONS

- Extreme fast switches

MECHANICAL DATA

Case: DO-35

Weight: approx. 105 mg

Cathode band color: black

Packaging codes/options:

TR/10K per 13" reel (52 mm tape), 50K/box

TAP/10K per ammopack (52 mm tape), 50K/box

PARTS TABLE

PART	ORDERING CODE	TYPE MARKING	INTERNAL CONSTRUCTION	REMARKS
1N4148	1N4148-TAP or 1N4148TR	V4148	Single diode	Tape and reel/ammopack

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T_{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)



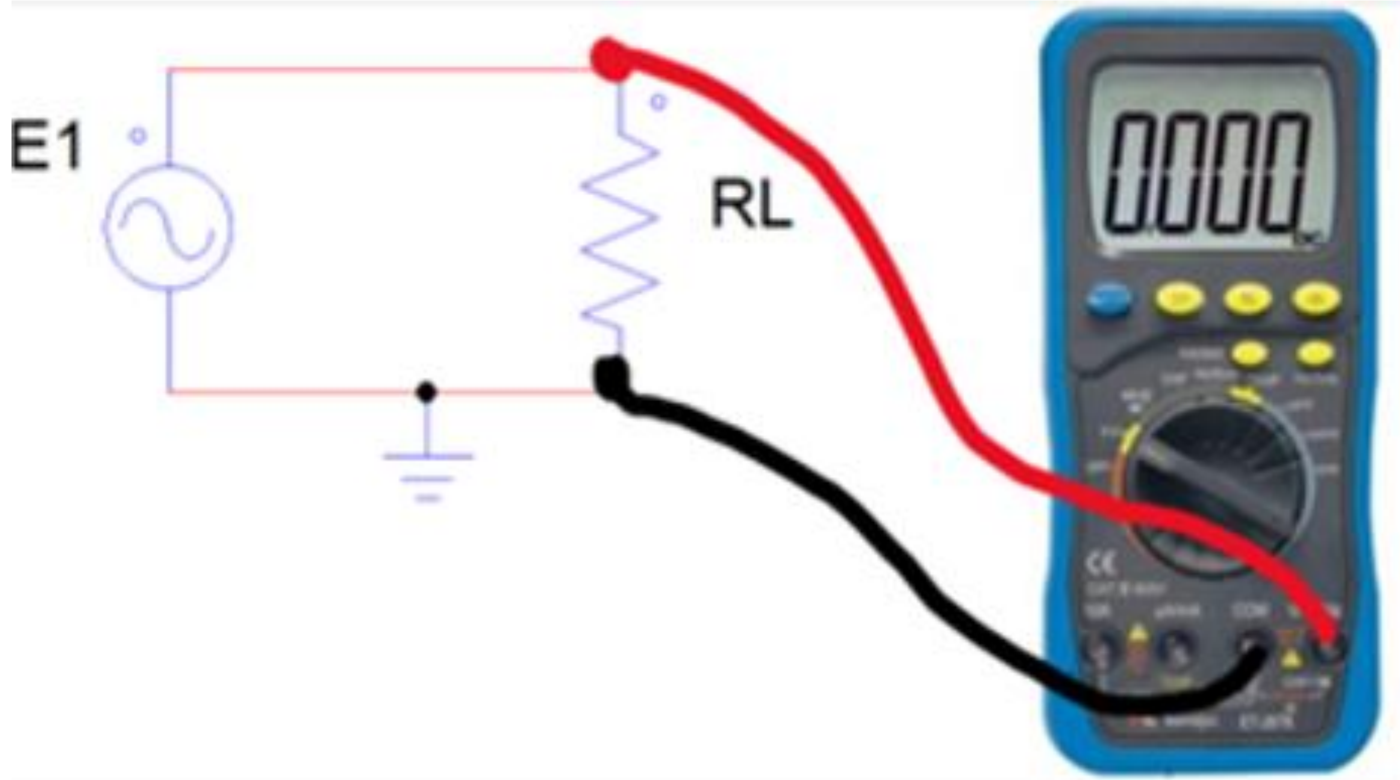
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Repetitive peak reverse voltage		V_{RRM}	100	V
Reverse voltage		V_R	75	V
Peak forward surge current	t_p = 1 µs	I_{FSM}	2	A
Repetitive peak forward current		I_{FRM}	500	mA
Forward continuous current		I_F	300	mA
Average forward current	V_R = 0	$I_{F(AV)}$	150	mA
Power dissipation	l = 4 mm, T_L = 45 °C	P_{tot}	440	mW
	l = 4 mm, $T_L \leq$ 25 °C	P_{tot}	500	mW

TABELA RESUMO: retificadores (sem a etapa de filtro e regulação)

Parâmetro	Meia Onda
Número diodos	1
Frequência saída [Hz]	$1.(Freq_{entrada})$
Tensão média na carga - V_{DC}=V_{CC} [V]	$\frac{(V_{max} - V_F)}{\pi}$
Tensão eficaz na carga - V_{RMS}=V_{EF} [V]	$\frac{(V_{max} - V_F)}{2}$
Máxima tensão reversa-TPR=TPI=PIV [V]	$> V_{max}$
Ripple-fator de ondulação [%]	≈ 120
Capacidade de potência aparente do transformador em relação à potência contínua na carga [VA]	$3{,}49\ P_{DC}\ primário\ e\ secundário$
Eficiência [%]	$40{,}5$

A indicação da tensão medida pelo MD selecionado em Vdc?

Q1



a) ▲ E1

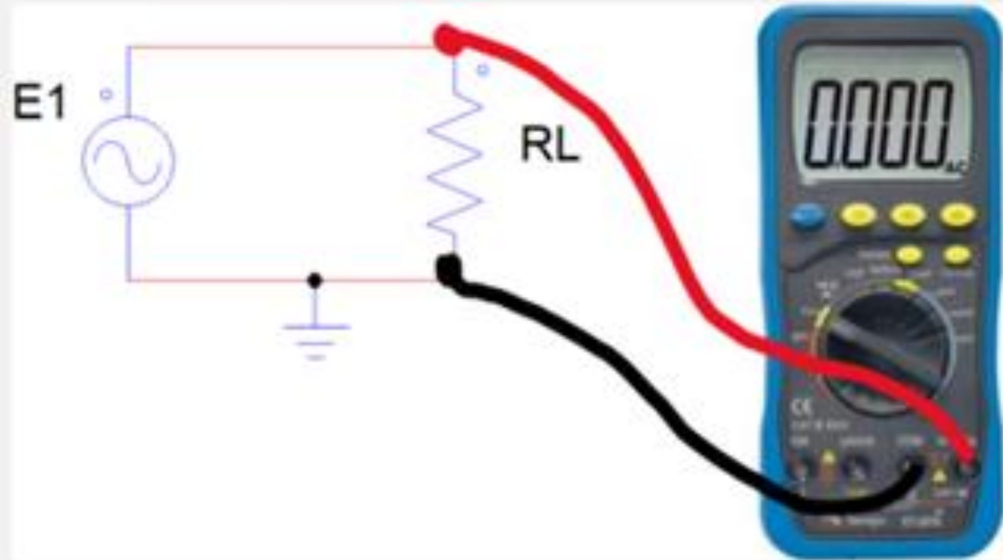
c) ◆ E1/√2

b) ● E1(√2)

d) ■ 0 ✔

A indicação da tensão medida pelo MD selecionado em Vac?

Q2



a) ✔ E1

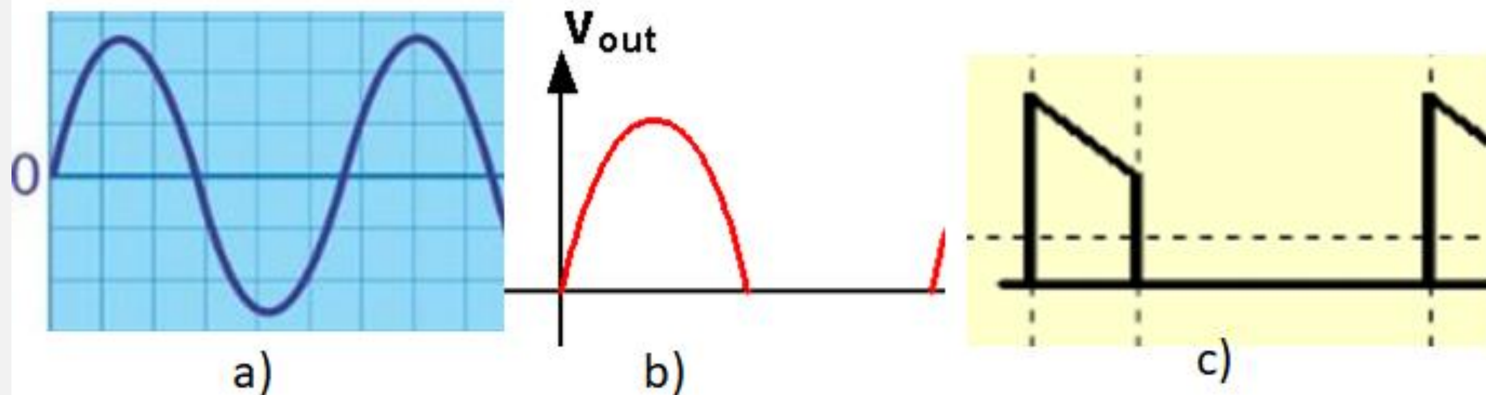
c) E1/√2

b) E1(√2)

d) 0

A leitura incorreta da grandeza é medida desde que o MD seja:

Q3



a) true rms para a forma "c"

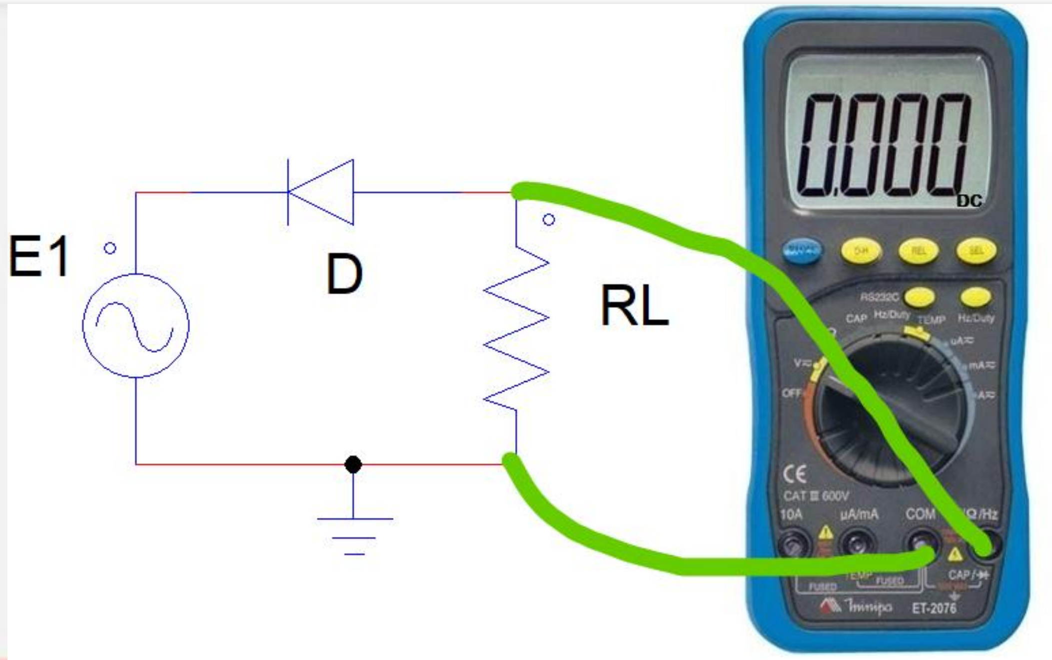
c) não true rms para a forma "a"

b) não true rms para "b" ✓

d) true rms para a forma "a"

O valor indicado pelo instrumento na escala de tensão contínua, diodo ideal:

Q4



a) E1.√2.(0,318)

c) E1.(0,318)

b) -E1.√2.(0,318) ✓

d) -(E1) (0,318)

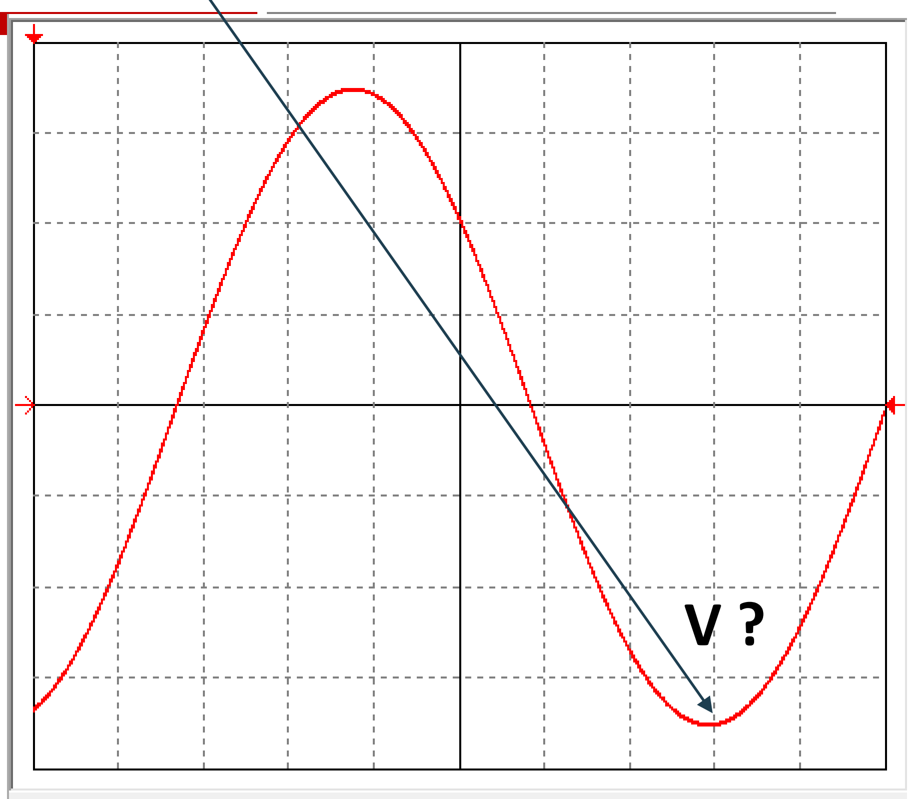
$V_{RL} = V_{medio} = V_{DC} = (V_{máx}).0,318$

Q5 Admitindo que um osciloscópio seja usado na medição do equipamento cuja placa de identificação é apresentada. Qual é o valor da tensão |V|?

Aquecedor elétrico

DATA	5/11	
OF	43499	
POTÊNCIA	265	KW
TENSÃO	440	V
AMPERAGEM	348	A

Créditos imagem: https://portalvhds59tjxly4lfg53.blob.core.windows.net/fotos-placas/etiqueta-metalica-36ul45e5lm-normal.jpg



a) 440 V

b) $(440\sqrt{2})$ V ✓

c) $(440/\sqrt{2})$ V

d) $-(440\sqrt{2})$ V

Exercício - meia onda

Um circuito retificador monofásico de meia onda emprega um transformador de 127 V /12 V que alimenta uma carga de 200 Ω. Admitir o diodo ideal. Pede-se:

a) Desenhar o circuito em questão para o retificador:

b) Desenhar a forma de onda da tensão e corrente na carga informando os valores de pico e eficaz:

c) Desenhar a forma de onda no diodo com o valor de pico e eficaz :

d) Determinar o valor médio da corrente na carga: (R:I_{DC}=27 mA)

e) A especificação da TPI do diodo: (R:V_{PIV} > 17 V)

Exercício - valores notáveis

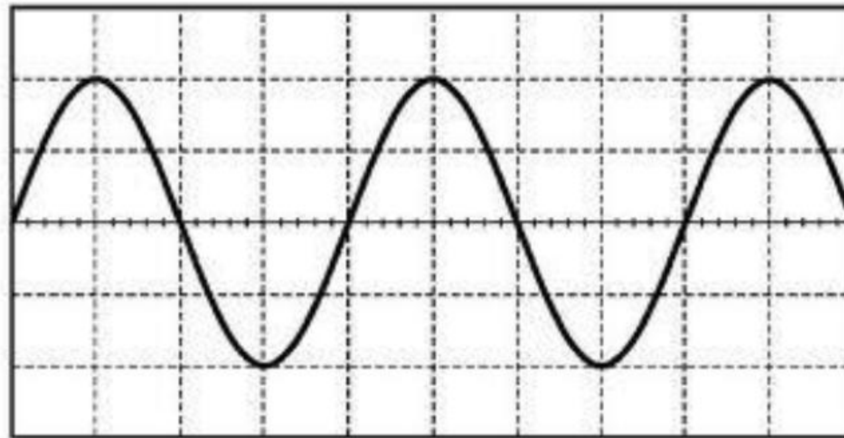
Jm sinal **senoidal de tensão** apresenta o seguinte comportamento:

$$V(t) = 178.sen(2.\pi.100.t)$$

a) Qual a amplitude (Tensão de pico) da forma de onda?
b) Qual a frequência?
c) Qual o período?
d) Qual o valor médio?
e) Qual o valor eficaz (RMS)?

Exercício

O sinal abaixo foi obtido através de um osciloscópio, que estava ajustado na escala vertical para 5V/div. e escala horizontal de 0,5ms/div.

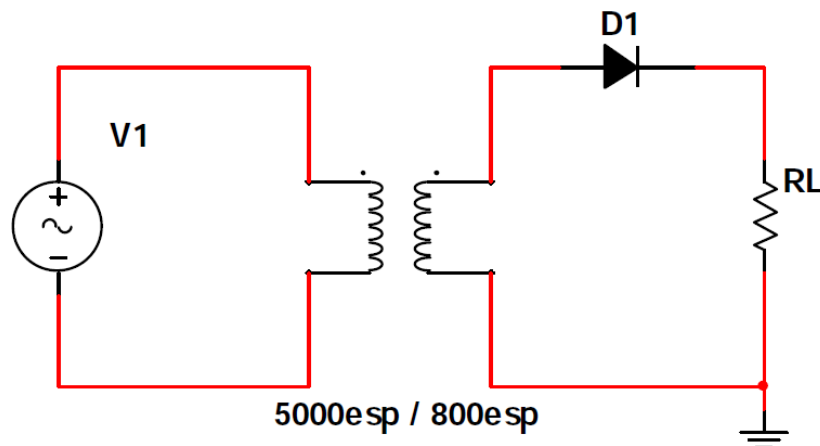


a) Qual a amplitude (Tensão de pico) da forma de onda?
b) Qual o período?
c) Calcule a frequência?
d) Qual o valor médio?
e) Qual o valor eficaz (RMS)?

Exercício

Considerando que o sinal do exercício 24 foi ligado no primário do transformador do retificador abaixo, informe o que se pede:

Obs.: D1 é de Silício e RL = 18Ω



a) Tensão Eficaz RMS no Primário;

b) Tensão Eficaz RMS no Secundário;

c) Tensão de pico no Secundário;

d) Tensão de Pico na Carga RL;

e) Corrente de Pico na Carga RL;

f) Corrente Média CC na Carga RL;

g) Tensão Eficaz RMS na Carga RL;

h) Corrente Eficaz RMS na Carga RL;

i) Desenho da Forma de Onda na Carga RL;

j) Frequência do sinal de saída na Carga RL;

k) Período (T) do sinal de saída na Carga RL;